

Выводы. Спроектирована и разработана информационно-моделирующая система для расчета теплового баланса анодной печи. Она предназначена для расчета приходных и расходных статей теплоты, а также для определения количества топлива, необходимого для проведения технологического процесса.

Список использованных источников

1. Тепломассоперенос: учебник для студентов вузов / А.С. Телегин, В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко; под ред. Ю.Г. Ярошенко. – М.: «Академкнига», 2002. – 455 с.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М.: «Энергия», 1977. – 344 с.
3. Теплотехнические расчеты металлургических печей: учебное пособие / Под ред. А.С. Телегина. – М.: Металлургия, 1993. – 528 с.
4. Орлов С.А. Технологии разработки программного обеспечения: учеб. / С.А. Орлов. – СПб.: Питер, 2002. – 464 с.
5. Рихтер Дж. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.0 на языке C#. – СПб.: Питер, 2012. – 928 с.

УДК 681.532.1

Ю. Н. Чесноков¹, В. Г. Лисиенко¹, А. В. Лаптева²

¹ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия;

² ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», г. Екатеринбург, Россия

СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА РУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВЫХОДЕ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ С ГИДРОЦИЛИНДРОМ

Аннотация

Дробление рудных материалов перед их дальнейшим использованием является необходимым элементом современных металлургических технологий. По мере износа брони на конусах дробилки происходит изменение размера ее рабочей щели. Это приводит к изменению гранулометрического состава дробленого материала. Существуют конусные дробилки, у которых размер рабочей щели регулируется перемещением нижнего конуса по вертикали с помощью гидроцилиндра. Для таких дробилок можно построить систему регулирования рабочей щели, а значит и гранулометрического состава, с применением бесконтактного гранулометра. В статье описана такая система регулирования.

Ключевые слова: металлургические технологии, конусная дробилка, инерционная дробилка, гидроцилиндр, руда, гранулометрический состав, автоматическая система регулирования, Simulink.

Abstract

Crushing of ore materials before their further use is necessary element of modern metallurgical

technologies. In process of wear of armor on cones of crusher there is change of size of its working crack. It leads to change of particle size distribution of shredded material. There are conical crushers at which size of working crack is regulated by movement of lower cone down by means of hydraulic cylinder. For such crushers it is possible to construct system of regulation of working crack, so and particle size distribution, with application of contactless granulometr. In article such system of regulation is described.

Key words: *metallurgical technologies, conical crusher, inertial crusher, hydraulic cylinder, ore, particle size distribution, automatic system of regulation, Simulink.*

Конусная дробилка имеет неподвижный конус и эксцентрично вращающийся внутри его подвижный конус. В нижней части неподвижного конуса образуется рабочая щель, размер которой зависит от взаимного расположения обоих конусов. Руда между конусами раздавливается и сыплется из рабочей щели. Для сохранения размеров конусов их конусные поверхности покрыты броней – твердой сталью.

В дробилках завода Уралмаш, в отличие от машин с гидравлической опорой дробящего конуса, осевая нагрузка от дробления воспринимается большим сферическим подпятником, который жестко установлен в станине, без возможности каких-либо перемещений. Функция регулирования разгрузочной щели реализуется с помощью резьбового соединения опорного и регулирующего колец. За счет такого разделения функций обеспечивается постоянное поддержание заданного размера разгрузочной щели, вне зависимости от величины усилия дробления. Это, в свою очередь, обеспечивает стабильный гранулометрический состав продукта дробления.

Жесткое опирание дробящего конуса за счет разделения функций восприятия усилий от дробления и регулирования разгрузочной щели обеспечивает стабильный гранулометрический состав продукта за счет стабильного поддержания размера разгрузочной щели. Однако, по мере износа брони размер рабочей щели за рабочую смену заметно увеличивается, что приводит к изменению гранулометрического состава дробленой руды. Для регулирования размера рабочей щели изменяют по высоте положение верхнего конуса при остановленной подаче дробимого материала [1].

За рубежом выпускают конусные дробилки с гидравлической регулировкой рабочей щели (рис. 1). Здесь нижний (дробящий) конус опирается на гидравлический цилиндр. При увеличении или уменьшении давления в цилиндре изменяется положение нижнего конуса и размер рабочей щели. По причине утечек масла из гидравлической системы стабильность размера рабочей щели недостаточна.

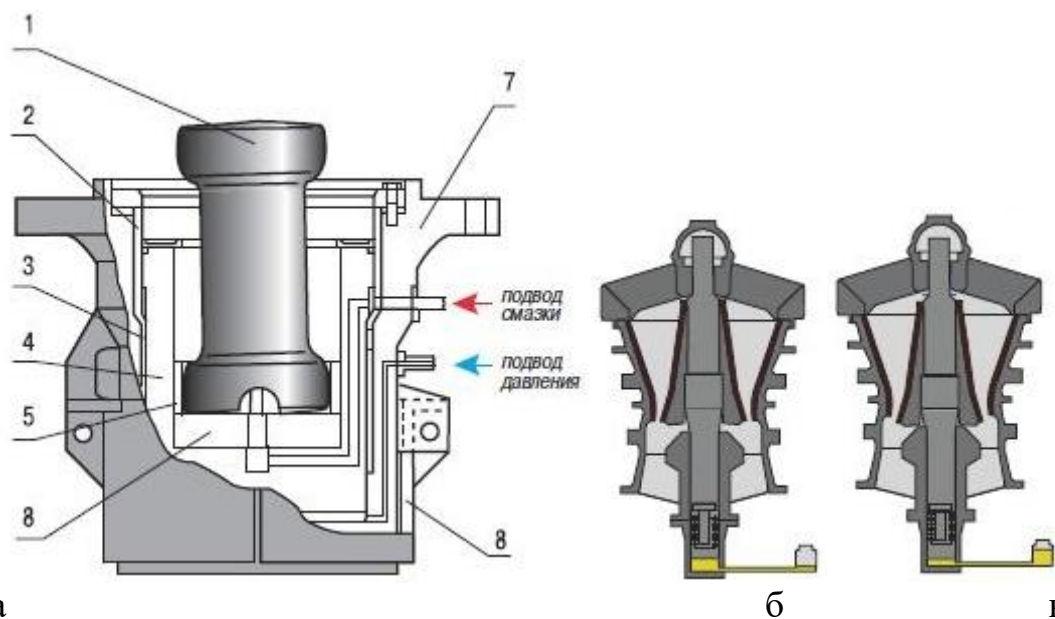


Рис. 1. Общий вид инерционной дробилки системы Механобр: 1 – опорный вал; 2 – втулка; 3 – уплотнение; 4 – плунжер; 5 – втулка; 6 – подпятник; 7 – корпус гидроцилиндра; 8 – броня; б – дробящий конус поднимается при нагнетании масла в гидроцилиндр; в – дробящий конус опускается при сливе масла из гидроцилиндра в бак

Все элементы конусной дробилки испытывают сильные вибрации. По этой причине установить датчик положения дробящего конуса по высоте бесполезно. Систему автоматического регулирования предлагается замкнуть с помощью гранулометра, который измеряет какой-либо представительский размер продукта (средний, минимальный). Структурная схема такой системы автоматического регулирования размера рабочей щели представлена на рис. 2.

Из рабочей щели конусной дробилки крупного дробления (ККД) на конвейер сыплются куски дробленой руды. Их размеры лежат в определенных пределах. Гранулометр измеряет эти куски, вычисляет характерный размер и передает его на сравнивающее устройство. Если этот размер отличается от заданного уставкой, то регулятор формирует сигналы на гидростанцию, которая подает масло под давлением в нужную область гидроцилиндра, поднимая или опуская подвижный нижний конус дробилки.

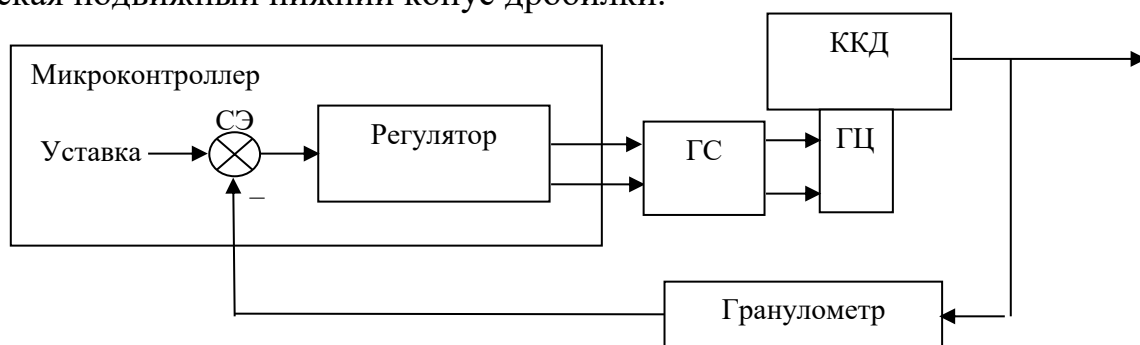


Рис. 2. Структурная схема САР размера рабочей щели конусной дробилки: ГС – гидростанция; ГЦ – гидроцилиндр; ККД – конусная дробилка крупного дробления; СЭ – сравнивающий элемент

Гидростанция содержит элементы, представленные на рис. 3. Гидроцилиндр со штоком 2 принадлежит конусной дробилке.

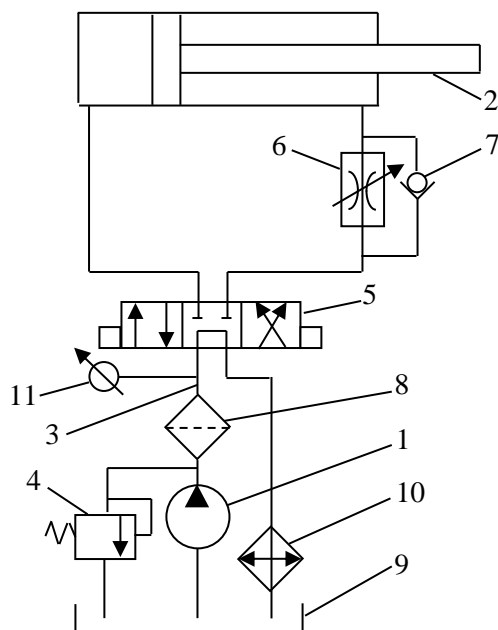


Рис. 3. Схема гидростанции с рабочим цилиндром: 1 – гидравлический насос; 2 – шток гидроцилиндра; 3 – подающая магистраль; 4 – защитный клапан; 5 – трехпозиционный гидрораспределитель; 6 – дроссель; 7 – обратный клапан; 8 – фильтр; 9 – поддон; 10 – охладитель масла; 11 – манометр

Гидронасос работает непрерывно, что исключает из рассмотрения его динамические свойства. Передаточную функцию гидростанции на данном этапе проектирования примем равной

$$W_{gs} = 1$$

Система является дискретной, так как гранулометр выдает сигнал периодически, регулятор реализован в виде программы, установленной на микроконтроллере Simatic S7-300 фирмы Siemens [2, 3]. Однако скорость обработки информации вычислительными средствами на несколько порядков превышает реакцию ККД на регулирующее воздействие. По этой причине далее эту систему можно рассчитать как непрерывную.

Регулятор реализует физически реализуемую передаточную функцию ПИД-регулятора

$$W_r(s) = k_r \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{0,25 T_d s + 1} \right),$$

где k_r – коэффициент передачи регулятора; T_i – постоянная интегрирования; T_d – постоянная дифференцирования. Передаточную функцию гидроцилиндра примем равной

$$W_{gc} = \frac{1}{0,005s + 1}.$$

В результирующую передаточную функцию разомкнутой САР входит компонента транспортного запаздывания, так как гранулометр вблизи конусной дробилки невозможно установить из-за пыли, которая отрицательно повлияет на работу видеокамеры. Скорость транспортера 2,5 м/с, гранулометр установим на расстоянии 10 м от конусной дробилки. Тогда транспортное запаздывание составит $10 \text{ м} / 2,5 \text{ м/с} = 4 \text{ с}$.

Транспортным запаздыванием в гидравлических трубопроводах на данном этапе пренебрегаем.

Таким образом, передаточная функция разомкнутой САР размера рабочей щели конусной дробилки крупного дробления имеет вид:

$$W_r(s) = k_r \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{0,25 T_d s + 1} \right) \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{0,005 s + 1} \right) \cdot e^{-4s}$$

Назначим следующие начальные значения настроек регулятора:

- 1) $k_r = 0,1$;
- 2) $T_i = 0,5$;
- 3) $T_d = 0,01$.

Затем воспользуемся пакетом прикладных программ Matlab, входящей в него системой моделирования Simulink и блоком систем управления NCD Outport из группы динамической оптимизации NCD Blockset для определения оптимальных значений этих настроек (рис. 4 и 5). С помощью NCD Outport задали требуемые ограничения для переходного процесса в оптимизируемой системе, указали оптимизируемые параметры и настроили параметры нелинейной модели, выполнив параметрическую оптимизацию по переходному процессу. Система оказалась жесткой. Для моделирования была выбрана программа ode15s (stiff/NDF) [4].

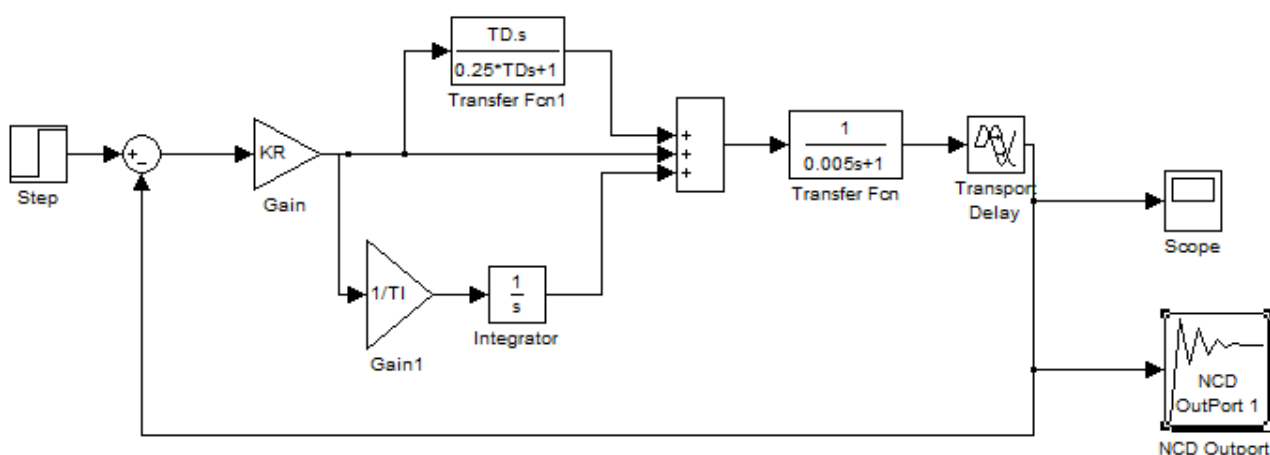


Рис. 4. Схема модели в среде моделирования Simulink

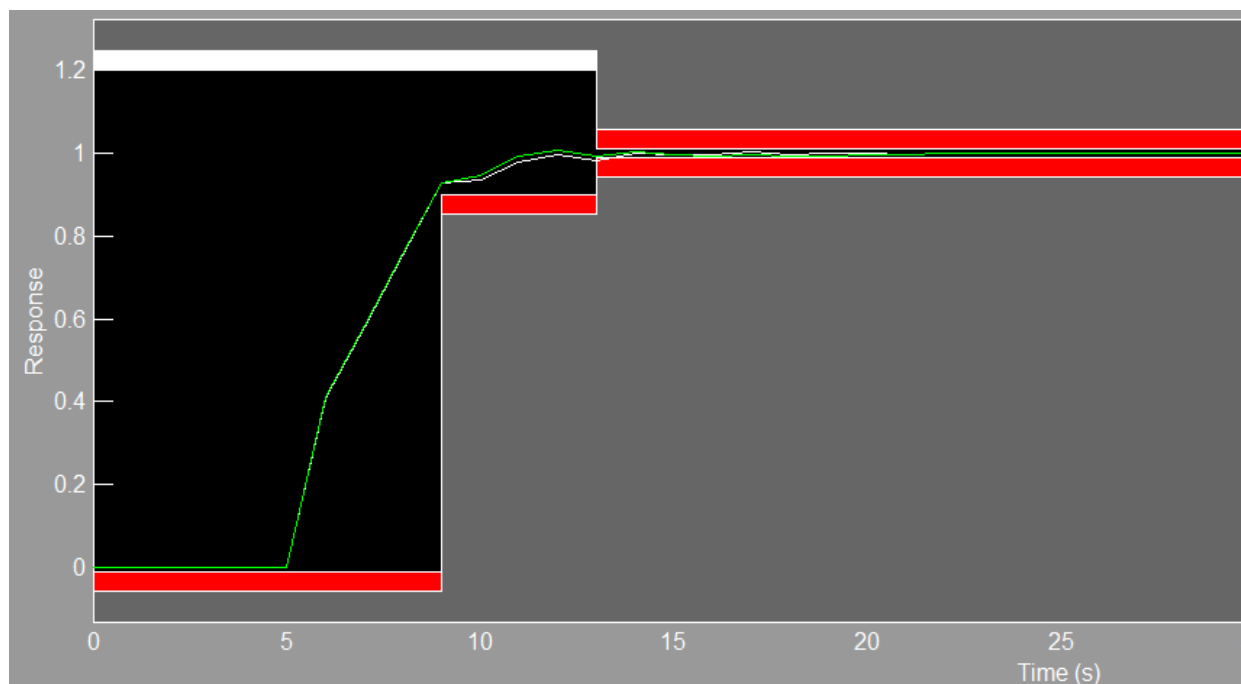


Рис. 5. Результат моделирования схемы с целью поиска оптимальных настроек регулятора

Получены следующие результаты:

- 1) время регулирования 9 мин, из которых 4 мин – транспортная задержка.
- 2) перерегулированием можно пренебречь.
- 3) коэффициент передачи регулятора $k_r = 0,2393$;
- 4) постоянная интегрирования $T_i = 1,3845$;
- 5) постоянная дифференцирования $T_d = 0,0088$.

Выводы

1. Применение системы автоматического регулирования, содержащей гранулометр, позволяет стабилизировать размер рабочей щели конусной дробилки с гидравлической системой регулирования размера рабочей щели.
2. Для реализации системы необходимо выбрать бесконтактный гранулометр, позволяющий точно измерять параметры крупности дробленой руды.

Список использованных источников

1. Критерии для сравнения конусных дробилок. Режим доступа: <http://www.maxi-exkavator.ru/articles/crusher/~id=1830>.
2. Круглов В. Н. Проведение промышленных испытаний и модернизация системы оценки крупности дробленой руды «ГРАНИКС» // УрФУ. Отчет о научно-исследовательской работе. – 2014.
3. Стародумов А. В. Автоматизированная система управления процессами сырых окатышей / А. В. Стародумов [и др.] // Сталь. 2008. №12. С. 37–39.
4. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / И.В. Черных; под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.